

ПЕТРОЛОГИЯ, ВУЛКАНОЛОГИЯ

УДК 551.22:552.31

**Постостроводужный интрузивный магматизм
Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала****И.Р. Рахимов**

Институт геологии Уфимского ФИЦ РАН,

450077, Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2. E-mail: ig@ufaras.ru.

(Статья поступила в редакцию 20 марта 2018 г.)

Показано, что постостроводужный интрузивный магматизм Западно-Магнитогорской зоны охватил интервал времени от позднего девона до позднего карбона. На основе новых геолого-минерально-геохимических данных и эволюционно-генетических реконструкций предложена новая схема систематизации всего многообразия магматитов в виде четырёх дискретных интрузивных серий: 1) габбро-норит-диоритовой, 2) габбро-диорит-гранитовой, 3) перидотит-габбро-диорит-гранитовой, 4) лампрофир-долеритовой. Каждая серия характеризуется особенностями морфологии тел, а также петрографии, минералогии и геохимии пород.

Ключевые слова: Южный Урал, Западно-Магнитогорская зона, интрузивный магматизм, минералогия, геохимия.

DOI: 10.17072/psu.geol.18.1.17

Введение

Фундаментальные проблемы постсубдукционного магматизма, предвещающего континентальную стадию развития земной коры, в последнее время стали особенно актуальными. Наряду с уже привычной моделью отрыва субдуцированного слэба и последующей коллизией островной дуги с окраиной континента (Пучков, 2010), сейчас активно развивается модель трансформного скольжения плит, происходящего после отрыва слэба и вызывающего подъём астеносферного диапира в область образовавшегося «окна» (Khanchuk et al., 2016). Такая геодинамическая ситуация характеризуется специфичным типом магматизма, несущим смешанные геохимические признаки островодужной и внутриплитной обстановок. В геологической истории Южного Урала ярким примером постостроводужной стадии развития земной коры является эволюция Магнитогорского террейна в позднедевонско-каменноугольное время.

Западно-Магнитогорская зона (ЗМЗ) является частью Магнитогорского террейна, надвинутой на Уралтаускую структуру по Главному Уральскому надвигу (Казанцев и

др., 1992; Знаменский, 2009). Восточной границей ЗМЗ служит региональный Кизильский разлом, имеющий западное падение (Знаменский, 2015). На всём протяжении ЗМЗ (более 200 км) прослеживаются многочисленные маломощные интрузивные тела (рис. 1), рвущие девон-раннекаменноугольные вулканогенно-осадочные отложения и имеющие в основном раннекаменноугольный возраст. Эти интрузивные образования ранее были систематизированы Д.Н. Салиховым с разделением их на четыре основных типа: 1) конформные тела габброидов турнейского возраста (файзуллинский, басаевский, верхнеуральский, утыкташский комплексы); 2) дайки риолит-порфиров и долерит-порфиров визейского возраста (кизильский комплекс); 3) дифференцированные по составу дискордантные тела визейско-серпуховского возраста (худолазовский комплекс); 4) дайки лампрофиров и роговообманковых долеритов позднекаменноугольного или раннепермского возраста (баишевский, гадельшинский, дайковый комплексы) (Салихов, Бердников, 1985; Салихов, Беликова, 2011; Салихов и др., 2011).

Первая группа тел объединялась по такому общему структурно-геологическому при-

знаку, как приуроченность интрузивов к бортам синклинальных структур. По взаимоотношениям интрузивов между собой был установлен более молодой возраст даек лампрофиров и долеритов относительно как первой группы тел, так и худолазовского комплекса. Неясными оставались геологическая позиция и критерии объединения разных по составу пород в единый кизильский комплекс. Проведённые автором данной статьи комплексные исследования позволили уточнить геологическую позицию, петрографию, минералогию, геохимию, а также возраст обозначенных интрузивных тел. В результате разработана новая схема расчленения позднедевонско-карбонового интрузивного магматизма ЗМЗ, представляемая в настоящей статье.

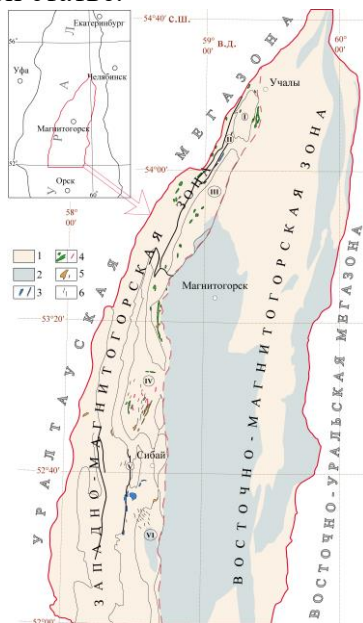


Рис. 1. Геологическая схема расположения позднедевонско-карбоновых интрузивов Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала (Рахимов, 2017): 1 – вулканогенно-осадочные комплексы островодужного генезиса (S–D), 2 – вулканогенно-осадочные комплексы постостроводужного генезиса (C), 3 – интрузивы габбро-норит-диоритовой серии (D_{3fm}), 4 – интрузивы габбро-диорит-гранитовой серии (C_{1t-v}), 5 – интрузивы перидотит-габбро-диорит-гранитовой серии (C_{1s}), 6 – дайки лампрофир-долеритовой серии (C_{1b}) (вне масштаба). Римскими цифрами обозначены: I – Имангуловская синклиналь, II – Байрамгуловский разлом, III – Верхнеуральская синклиналь, IV – Худолазовская синклиналь, V – Западно-Сибайский разлом, VI – Уртазымская синклиналь

Методы исследований

Полевое геологическое изучение интрузивов со сбором представительной коллекции образцов было предпринято автором в 2012–2016 гг. Петрографическое описание шлифов выполнялось на оптическом микроскопе Axioskop 40 A Pol (Carl Zeiss). Химический состав пород определялся рентгенофлуоресцентным методом на приборе VRA-30 (Carl Zeiss) в ИГ УНЦ РАН, г. Уфа. Микроэлементный состав пород получен методом ICP-MS на спектрометре ELAN 9000 с приставкой LSX-500 (Perkin Elmer) в ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург. Составы породообразующих и рудных минералов определялись в ИГМ СО РАН на сканирующем электронном микроскопе LEO 1430VP (Carl Zeiss) и на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8100 (JEOL), г. Новосибирск.

Изученные интрузивные образования систематизированы на основе традиционных геологических критериев: структурная позиция и морфология интрузивов, петрографические и эволюционно-генетические закономерности породных ассоциаций, а также их минеральный и химический состав. По этим признакам всё многообразие магматитов было расчленено на 4 последовательные интрузивные серии: 1) габбро-норит-диоритовая (D_{3fm}), 2) габбро-диорит-гранитовая (C_{1t-v}), 3) перидотит-габбро-диорит-гранитовая (328–324 млн лет/ U-Pb), 4) лампрофир-долеритовая (321 млн лет/Sm-Nd). Длительность магматизма составляет 40–45 млн лет. Каждая серия – это единая гомодромная ассоциация интрузивов отдельного тектономагматического цикла эволюции ЗМЗ, обладающих геологической, петрологической и геохимической общностью. Они во многом соответствуют понятию «петрографические серии», трактуемому Петрографическим кодексом (Петрографический..., 2009). В таблице дано сопоставление авторской схемы со схемой Д.Н. Салихова и примером систематизации магматизма ЗМЗ на государственных геологических картах.

Геологическое строение, петрография и минералогия

Габбро-норит-диоритовая серия объединяет два комплекса: *файзуллинский* и

Схемы расчленения позднепалеозойского (постостроводужного) интрузивного магматизма Западно-Магнитогорской зоны

Госгеолкарта-200 листа N-40-XXVIII (Жданов и др., 2003ф)		По материалам Д.Н. Салихова				Схема И.Р. Рахимова				
Комплекс (возраст)	Комплекс (возраст)	Комплекс	Возраст (млн лет/метод)	Форма залегания и состав	Интрузивные серии					
Худолазовский (C ₁)	Дайковый гадельшинский баишевский (C ₃ -P)	Улугуртауский	C ₂ b (321/Sm- Nd)	Дайки лампрофир- долеритов	Лампрофир- долеритовая					
	Худолазовский (C ₁ v-s)	Япрактинский	C ₁ s	Малые интрузии плагиогранитов	Перидотит- габбро-диорит- гранитовая					
		Худолазовский	C ₁ v-s (328- 324/U-Pb)	Штоки, хонолиты шрисгеймит-габбро- диоритов						
Кизильский (C ₁ v ₂)	Кизильский	C ₁ t-v	Дайки и малые ин- трузии плагиограни- тов	Габбро-диорит- гранитовая						
Петропавловский (C ₁)	Утлыкташский верхнеуральский басаевский	Утлыкташский басаевский	C ₁ t		Силлы, дайки габбро- ро-диоритов					
	файзуллинский (C ₁ t ₁ -v ₁)	Наурузовский файзуллинский	D ₃ fm	Силлы, лакколиты габбро-норит- диоритов	Габбро-норит- диоритовая					

наурузовский. Первый развит в пределах Таналыкской антиклинальной структуры, а второй – на западном крыле Верхнеуральской синклинали (рис. 1). Интрузивные тела морфологически представлены силлами, лакколитами, гарполитами. Размеры самых крупных массивов составляют 3.5×4.2 км при мощности более 200 м (Бахтигареевский лакколит), 0.8×5 км при мощности более 150 м (Наурузовский лакколито-силл). Геологическое положение тел характеризуется приуроченностью к зонам надвигов (разломы Западно-Сибайский, Байрамгуловский и др.) позднедевонского возраста. Возраст габбро-норит-диоритовой серии устанавливается по соотношениям с вмещающими породами как фаменский (D₃f). Интрузивы файзуллинского и наурузовского комплексов прорывают кремнистые отложения бугулыгырской толщи (D₂ef), а также туфогенные и терригенные образования улугуртауской (D₂₋₃zv-f), мукасовской (D₃f) и бугодакской (D₃f-fm) свит, но не встречены в более молодых толщах зилаирской свиты (D₃fm-C₁t₁). Одна из даек охарактеризованного ниже басаевского комплекса (габбро-диорит-гранитовая серия) пересекает Наурузовский массив.

Минеральный состав пород отвечает дифференцированному ряду от габбро-норитов (рис. 2, а, б) до диоритов. Дифференциация проявляется в пределах единых массивов и имеет антидромную направленность: верхние части лакколитов выполнены габбро-норитами, сменяющимися к подошве габбро-диоритами и диоритами (Бахтигареевский, Наурузовский массивы). Ортопироксен является одним из главных минералов габбро-норитов (20–50 %) и по составу соответствует энстатиту (Wo_{4.4}En_{57.1}Fs_{38.5}–Wo₄En₆₉Fs₂₇). Плагиоклаз – ведущий минерал всех типов пород (30–80%) и варьирует по составу от битовнита до андезина (An₇₈₋₄₂). Клинопироксен по составу соответствует авгиту (Wo_{40-43.8}En_{40-44.86}Fs_{11.36-20}), его максимальное содержание (20%) установлено в габбро-диоритах. Самым распространённым рудным минералом пород является титаномагнетит (до 10 об. %).

Габбро-диорит-гранитовая серия включает три комплекса: басаевский, утлыкташский и кизильский. Серия образует сплошной пояс интрузивов протяжённостью более 150 км, прорывающих различные по составу и возрасту отложения девона (улугуртауская,

бугодакская, мукасовская, зилаирская свиты, ярлыкаповская толща (D_{2ef}). По геологическим критериям серия датируется турнейско-визейским временем (C_{1t-v}).

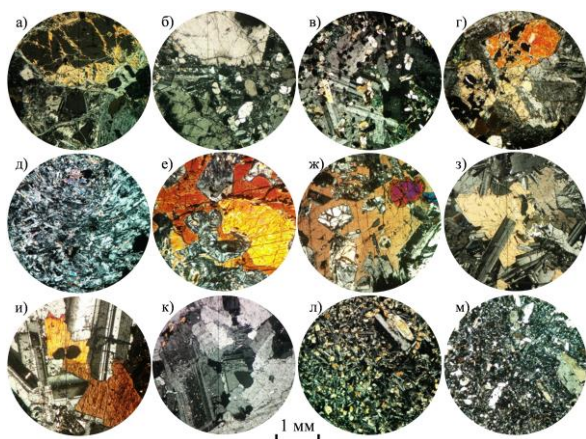


Рис. 2. Шлифы пород разных интрузивных комплексов ЗМЗ (николи ×): а) габбро-норит файзуллинского комплекса, б) габбро-норит наурузовского комплекса, в) долерит басаевского комплекса, г) габбро утлыкташского комплекса, д) плагиогранит кизильского комплекса, е) шприсгеймит худолазовского комплекса, ж) оливин-амфиболовое габбро худолазовского комплекса, з) габбро-диорит худолазовского комплекса, и) диорит худолазовского комплекса, к) плагиогранит япрактинского комплекса, л) амфиболовый долерит-порфир улугуртауского комплекса, м) одинит улугуртауского комплекса

Басаевский комплекс представлен двумя морфологическими типами интрузивов: силлами и дайками. Они в основном имеют субмеридиональное простирание. Крупнейшими интрузивами являются силл «Маха» (размеры около 0.3×10 км с мощностью около 100 м) и дайка «Давлетовская» (длина около 10 км при мощности около 50 м). Тела сложены мелкозернистыми долеритами (рис. 2, в) и диоритами. Первые состоят из плагиоклаза (50–75 %, An₆₂₋₄₉), амфибола (10–30 %, магнезиальная роговая обманка и чермакит), моноклинного пироксена (до 15 %, Wo_{47.58-41.37}En_{42.04-46.23}Fs_{8.29-17.1}), лейкоксенизированного титаномагнетита (до 8%), пирита (до 7 %) и имеют диабазовую структуру. Вторые также выполнены резко зональным плагиоклазом (65–80 %, An_{37.2-14.6-4.3}), амфиболом (10–30 %, чермакит), клинопироксеном (2–8 %, Wo_{46.7}En_{44.3}Fs₉), Ti-Mgt (2–5 %) и ильменитом (1–4 %), но имеют диоритовую структуру.

Утлыкташский комплекс образует субпластовые тела, локализованные на участке северного выклинивания ЗМЗ близ границ Имангуловской синклинали (рис. 1). Крупнейшим из них является расслоенный лополит «Утлыкташский» (10×2,5 км, мощность 200 м), сложенный габбро, габбро-диоритами и диоритами. Породы (рис. 2, г) обладают среднезернистой габбровой и офитовой структурой. Количество плагиоклаза (An₅₅₋₃₀) в них варьирует от 55 до 85 %, а клинопироксена (Wo₄₈En₄₂Fs₁₀–Wo₄₂En₃₈Fs₂₀) – от 5 до 40 %. Третьим по распространённости минералом является ильменит, достигающий в габбро 16 %.

Кизильский комплекс образован различными по мощности (1–60 м) дайками северо-восточного простирания, сложенными породами тоналит-трондьемитового типа. Некоторые из них секут интрузивы басаевского комплекса. Породы (рис. 2, д) сложены плагиоклазом (70–90%, An₃₂₋₂₅), образующим порфиновые вкрапленники и тонкозернистую основную массу, кварцем (5–20%), а также мусковитизированным биотитом (1–10%), хлоритизированной роговой обманкой (до 4%), лимонитизированным пиритом (до 3 %).

Перидотит-габбро-диорит-гранитовая серия включает два комплекса: худолазовский и япрактинский. Вещающими породами интрузивов обычно являются отложения мукасовской, зилаирской и берёзовской (C_{1t-v}) свит. Худолазовский комплекс датирован U-Pb методом по циркону и бадделеиту 328–324 млн лет (Салихов и др., 2012). Возраст япрактинского комплекса по геологическим данным определяется как серпуховский (C_{1s}).

Худолазовский комплекс представлен многочисленными хонолитообразными и штокообразными телами, образующими северо-восточный пояс протяжённостью около 70 км и секущими Худолазовскую синклинали (мульду) (рис. 1). В истории формирования комплекса выявлены 4 последовательные интрузивные фазы: I – шприсгеймитовая, II – габбровая, III – габбро-диоритовая, IV – диоритовая (Рахимов, 2017).

I фаза образует несколько небольших (50–100 м) однородных штоков шприсгеймитов в крайней западной части мульды. Поро-

ды (рис. 2, е) обладают пойкилитовой структурой и сложены оливином (40–45%, Fo_{86-82}), амфиболом (10–30%, чермакит), моноклинным пироксеном (<10%, $Wo_{20.76-47.94}En_{44.65-75.47}Fs_{3.77-7.48}$), а также рудными (до 10%, пирротин, халькопирит, пентландит, магнетит, хромшпинель) и другими минералами.

II фаза образует относительно крупные (до 3.5 км) дифференцированные хонолиты, сконцентрированные в осевой части Худолазовской структуры. Породы (рис. 2, ж) обладают неравномерной зернистостью с пойкило-офитовой структурой и состоят из плагиоклаза (20–80%, An_{77-42}), амфибола (10–20%, чермакит и Mg-роговая обманка), оливина (0–30%, Fo_{85-50}), клинопироксена (2–20%, $Wo_{27.26-48.98}En_{40.8-67.8}Fs_{5.65-28.84}$), реже биотита (0–6 %) и ромбического пироксена (до 5%, $Wo_{3.2-3.9}En_{61.4-77.8}Fs_{16-35}$). Сульфидная вкрапленность в них (пирротин, халькопирит, пентландит, пирит) достигает 7 об. %.

III интрузивная фаза представлена различными хонолитоподобными телами габбро-диоритов, распространённых по всей площади мульды и за её пределами. Структура пород габбро-офитовая (рис. 2 з), в минеральном составе преобладают плагиоклаз (60–80 %, An_{72-35}), амфибол-чермакит (10–35 %) и клинопироксен (5–15 %, $Wo_{44.55-47.67}En_{37.9-46.6}Fs_{7.27-16.39}$). Рудные минералы (3–7%) представлены титаномагнетитом, ильменитом, пиритом.

IV фаза образует мелкие единичные тела диоритов в западной и центральной частях Худолазовской структуры. Породы среднезернистые (рис. 2, и) и крупнозернистые с офитовой структурой и сложены главным образом двумя минералами – плагиоклазом (65–85 %, An_{60-34}) и амфиболом (10–30 %, чермакит). Реже развиты пироксен (до 5 %), пирит (до 10 %).

Япрактинский комплекс выделен пока по единственному массиву размером 100×300 м, прорывающему габбро-диоритовую залежь худолазовского комплекса и сложенному среднезернистыми плагиогранитами с пойкило-гранитовой структурой (рис. 2, к). Главными минералами в них являются плагиоклаз (65–75 %, $An_{23-0.9}$) и кварц (15–25 %). Встречаются также изменённые биотит и амфибол (до 5 %), а также магнетит с пиритом (до 5 %), апатит (до 2 %).

Лампрофир-долеритовая серия образует субмеридиональный пояс даек протяжённостью более 200 км и соответствует единому *улугуртаускому комплексу*. Дайки характеризуются однообразным строением при мощности около 0.5 м и выполнены мелкозернистыми порфиридовидными породами основного состава: амфиболовыми (рис. 2, л) и обыкновенными долеритами, лампрофирами (рис. 2, м) и переходными лампрофир-долеритами. Дайки местами образуют относительно плотные рои (например, у северо-западной границы Уртазымской синклинали, внутри Худолазовской синклинали (рис. 1)) и во многих участках пересекают интрузивы всех вышеуказанных комплексов. Ориентировка даек обычно северо-западная (310–330°) или северо-восточная (10–20°). Главными минералами пород являются плагиоклаз (50–70 %, $An_{79-12.5}$), моноклинный пироксен (1–45 %, $Wo_{75-39}En_{7.5-50.9}Fs_{9.9-17.5}$) и амфибол (0–30 %). Среди рудных минералов распространены ильменит и титаномагнетит. Вмещающими породами являются различные вулканогенно-осадочные образования девона и карбона. Улугуртауский комплекс датирован Sm-Nd методом по амфиболовому долериту возрастом 321 ± 15 млн лет (Рахимов и др., 2014).

Петрогеохимия пород

Породы каждой интрузивной серии характеризуются определёнными петрогеохимическими особенностями. Так, габбро-норит-диоритовая серия отвечает пониженно-титанистым (TiO_2 0.8–1.2 мас.%) базитам с нормальной щёлочностью (рис. 3) калий-натрового типа ($Na_2O/K_2O=3$). Индекс магнезиальности $Mg\#$ ($MgO/(MgO+TFeO+MnO)$) варьирует в пределах 50–30, индекс глинозёмистости $Al\#$ ($Al_2O_3/(TFeO+MgO)$) обычно низкий (<1). Габброидам свойственны повышенные концентрации крупноионных литофильных элементов (КИЛЭ) (Cs, Rb, Ba) и пониженные уровни накопления высокозарядных элементов (ВЗЭ) (Nb, Ta, Zr, Hf, Y), в том числе редкоземельных элементов (РЗЭ) с ясным Nb-Ta минимумом на мультиэлементной диаграмме (рис. 4). Им также свойствен чёткий Pb-максимум.

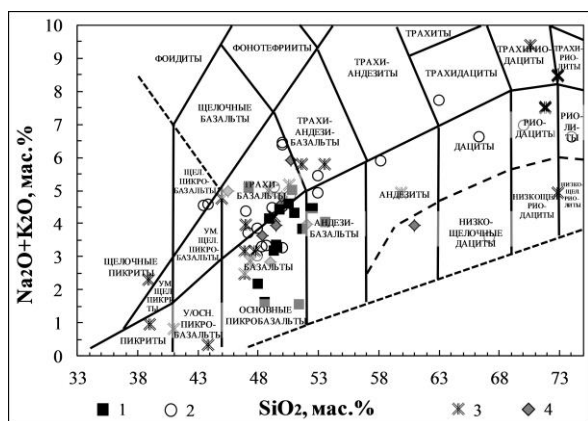


Рис. 3. Номенклатурная TAS-диаграмма (Петрографический кодекс, 2009) для пород ЗМЗ: 1 – габбро-норит-диоритовая серия, 2 – габбро-диорит-гранитовая серия, 3 – перидотит-габбро-диорит-гранитовая серия, 4 – лампрофир-долеритовая серия. Сплошная линия разграничивает нормальнощелочные и умереннощелочные–щелочные породы

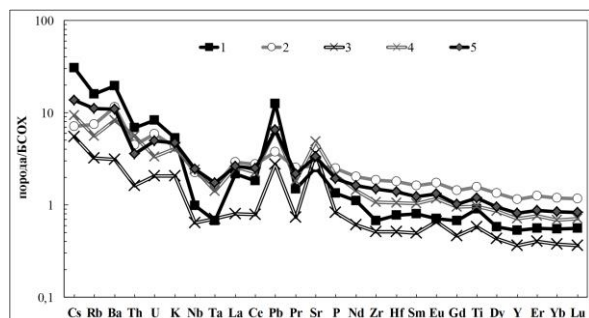


Рис. 4. Нормированное на средний состав базальтов срединно-океанических хребтов (БСОХ) (по Наумову и др., 2010) распределение индикаторных элементов в средних составах основных пород разных интрузивных серий ЗМЗ: 1 – габбро-норит-диоритовой, 2 – габбро-диорит-гранитовой, 3 и 4 – перидотит-габбро-диорит-гранитовой (3 – II фаза, 4 – III фаза худолазовского комплекса), 5 – лампрофир-долеритовой

Габброиды габбро-диорит-гранитовой серии являются умеренно- и высокотитанистыми (TiO_2 1–2.5%) породами, соответствующими в основном трахибазальтам и базальтам (рис. 3) с натровым типом щёлочности ($Na_2O/K_2O=4-5$). Индекс $Mg\#$ варьирует от 41 до 19, $Al\#$ обычно >1 . Породы обогащены КИЛЭ (Rb, Ba, Sr) и ВЗЭ (Zr, Hf, РЗЭ) относительно габброидов предыдущей интрузивной серии. На мультиэлементной диаграмме (рис. 4) спектры распределения проб характеризуются сильно варьирующим положением Nb-Ta минимума.

Гранитоиды этой серии характеризуются высокой глинозёмистостью (индекс Шенда

$ASI=Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ составляет 1.5–2), низкими концентрациями КИЛЭ (Cs, Rb, K) при отношении $Na_2O/K_2O>4$. В распределении РЗЭ отмечаются низкие концентрации средней группы элементов относительно лёгкой и тяжёлой. На диаграмме Al_2O_3-Yb фигуративные точки пород распределяются в зоне континентальных гранитов (рис. 5).

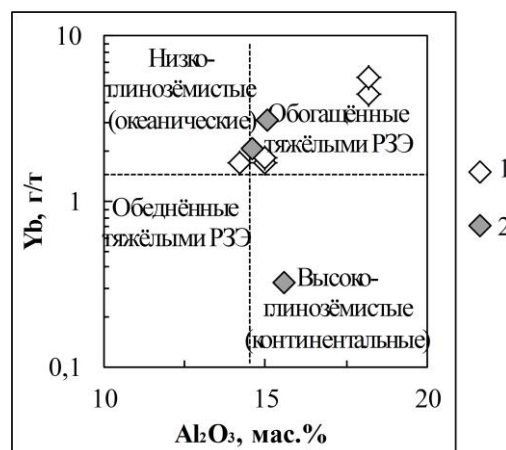


Рис. 5. Диаграмма Al_2O_3-Yb (по Арту, 1983) для плагиогранитов кизильского (1) и япрактинского (2) комплексов

Химический состав пород худолазовского комплекса перидотит-габбро-диорит-гранитовой серии соответствует переходному типу между нормальными и умереннощелочными пикритами и базальтами (рис. 3). Петрохимические индексы $Mg\#$ и $Al\#$ варьируют в пределах 72–41 и 0.1–2.6 соответственно. Перидотиты и габброиды обеднены ВЗЭ (Nb, Zr, Y, РЗЭ) и КИЛЭ (Sr, Ba), но обогащены сидерофильными элементами (Ni, Co, Cr) в сравнении с габбро-диоритами и диоритами. На мультиэлементной диаграмме спектры пород II фазы (оливиновые габброиды) занимают более «низкую» позицию относительно пород III фазы (габброиды) (рис. 4).

Кислые породы этой серии (япрактинский комплекс) характеризуются повышенной глинозёмистостью, индекс ASI составляет 1.44–1.65. Отношение Na_2O/K_2O очень высокое: 11–84. Породы неравномерно обогащены многими индикаторными элементами (Ti, Zr, Hf, Y), а характер распределения РЗЭ отличается сильно варьирующим значением $(La/Yb)_n$ отношений: 4.6–33.4. На диаграмме Al_2O_3-Yb фигуративные точки пород отвечают континентальным гранитоидам (рис. 5).

Породы лампрофир-долеритовой серии отвечают нормальнощелочным базитам с умереннощелочным уклоном (рис. 3). Для них характерна умеренная титанистость (TiO_2 около 1.5 мас.%), индекс $Al\#$ составляет 0.8–1.1, а индекс $Mg\#$ варьирует в пределах 54–29. Распределение индикаторных микроэлементов характеризуется умеренной обогащённостью КИЛЭ (Cs, Rb, Ba, Sr) и ВЗЭ (U, Pb, РЗЭ), что по общим геохимическим критериям сближает породы данной серии с габброидами габбро-диорит-гранитовой серии (рис.4).

Обсуждение результатов

Тип распределения индикаторных микроэлементов в породах габбро-норит-диоритовой серии на мультиэлементной диа-

грамме весьма характерен для базальтов надсубдукционного генезиса и свидетельствует о генетической близости с ними. Однако на дискриминационных диаграммах точки составов габбро-норитов не ложатся на поля островодужных базальтов и образуют тренды, смещённые в сторону внутриплитных океанических базальтов (рис. 6). Формирование габбро-норит-диоритовой серии связывается с обстановкой коллизии «потухшей» Магнитогорской дуги и пассивной окраины Восточно-Европейского континента (Пучков, 2010). Впоследствии в структуре ЗМЗ возникли синклиналильные структуры, заполнившиеся зилаирским флишем (D_3fm-C_1t).

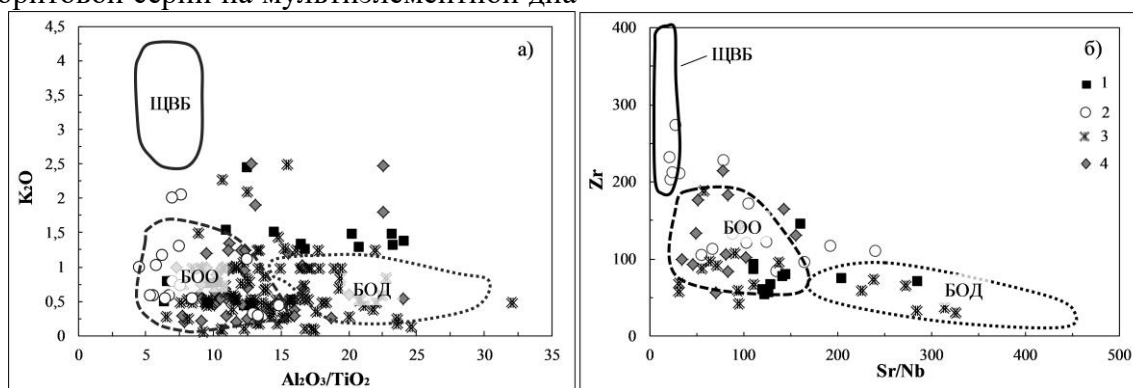


Рис. 6. Дискриминационные диаграммы Al_2O_3/TiO_2-K_2O (а) и $Sr/Nb-Zr$ (б) для пород основного состава (по Рахимову, 2017): 1 – габбро-норит-диоритовая серия, 2 – габбро-диорит-гранитовая серия, 3 – перидотит-габбро-диорит-гранитовая серия, 4 – лампрофир-долеритовая серия. ЩВБ – щелочные внутриплитные базальты, БОО – базальты океанических островов, БОД – базальты островных дуг

Базиты габбро-диорит-гранитовой серии характеризуются промежуточными геохимическими признаками (между базальтами океанических островов и базальтами островных дуг). Однако на дискриминационных диаграммах фигуративные точки попадают в поля базальтов океанических островов (рис. 6). По времени формирования данная серия совпадает с мощным базальт-риолитовым умереннощелочным и высокотитанистым вулканизмом гавайитового типа, проявившимся при раскрытии Магнитогорско-Богдановского «пулл-апарт» бассейна в смежной Восточно-Магнитогорской зоне (Бочкарёв, Язева, 2000; Салихов и др., 2014).

Геохимические параметры пород кизильского комплекса сигнализируют об их вы-

субстрата (Рахимов, 2017). Точки составов плагиогранитов на дискриминационных диаграммах попадают в поля гранитов и надсубдукционных, и внутриплитных обстановок (рис. 7). Это явление характеризует плагиограниты габбро-диорит-гранитовой серии как продукты частичного плавления островодужных пород коры ЗМЗ.

Худолазовский комплекс перидотит-габбро-диорит-гранитовой серии по многим параметрам аналогичен трапповым интрузивным комплексам Норильского района (Рахимов, 2017). На дискриминационных диаграммах точки составов худолазовского комплекса покрывают поля базальтов внутриплитных и надсубдукционных обстановок (рис. 6). Известно, что для сибирских траппов весьма характерна «надсубдукционная»

геохимическая черта, несмотря на их внутриплитное происхождение (Иванов, 2011). Формирование худолазовского комплекса произошло уже после прекращения морского осадконакопления в ЗМЗ при относительно спокойной тектонической ситуации.

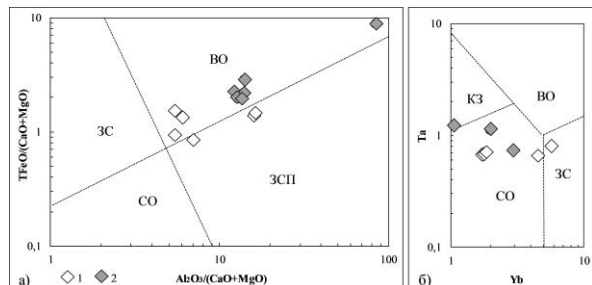


Рис. 7. Дискриминационные диаграммы $Al_2O_3/(CaO+MgO)-TFeO$ (по Гребенникову и др., 2013) (а) и $Yb-Ta$ (по Pearce et al., 1984) (б) для плагиогранитов кизильского (1) и япрактинского (2) комплексов. КЗ – коллизионные зоны, ВО – внутриплитные обстановки, СО – субдукционные обстановки, ЗС – зоны спрединга, ЗСП – зоны скольжения плит

Кислые породы этой серии (япрактинский комплекс) по геохимическим параметрам близки к плагиогранитам кизильского комплекса, что объясняется сходством составов их родоначальных субстратов. На дискриминационных диаграммах точки составов пород япрактинского комплекса также ложатся на поля гранитов внутриплитных и надсубдукционных обстановок (рис. 7).

Геохимические особенности пород лампрофир-долеритовой серии также являются промежуточными между надсубдукционными и океаническими внутриплитными базальтами. Но на дискриминационных диаграммах точки составов пород попадают в поля базальтов океанических островов (рис. 6). Само формирование лампрофир-долеритовой серии даек связывается с проявлением наиболее ранних признаков завершающего этапа орогенных деформаций на Южном Урале, имевшего длительную (C_2-R_1) историю (Пучков, 2000). В среднем карбоне происходит «закрытие» бассейнов с карбонатным осадконакоплением в Восточно-Магнитогорской зоне с частичным их перекрыванием флишоидами (Лутфуллин, 1975). Признаков морского осадконакопления в ЗМЗ в этот период времени нет. Тем не менее влияние субдукционного источника на

характер магматизма в Магнитогорской зоне до этого временного интервала ещё сохраняется.

Заключение

Проведённые исследования показали многообразие продуктов постостроводужного интрузивного магматизма Западно-Магнитогорской зоны. Полученные результаты позволили разработать новую схему систематизации этого магматизма. В период времени от позднего девона (D_3fm) до позднего карбона (C_1b) выделены четыре последовательные эволюционно-генетические интрузивные серии: 1) габбро-норит-диоритовая (D_3fm), 2) габбро-диорит-гранитовая (C_1t-v), 3) перидотит-габбро-диорит-гранитовая (328–324 млн лет/ U-Pb), 4) лампрофир-долеритовая (321 млн лет/Sm-Nd).

Выделены два новых интрузивных комплекса: наурузовский габбро-норит-диоритовый и япрактинский плагиогранитовый. Выяснено, что рассматриваемые ранее в единой группе (Салихов, Беликова, 2011) басаевский, утлыкташский и фэйзуллинский комплексы имеют резкие различия не только в минерально-геохимическом составе, но и в геологическом строении.

Отмечается, что на протяжении всего времени проявления интрузивного магматизма ЗМЗ в породах различных комплексов сохраняются надсубдукционные геохимические метки (Nb-Ta минимум, Pb-максимум и др.).

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме № 0252-2017-0012 «Магматические системы в истории развития Южного Урала (геодинамические обстановки формирования и металлогеническая специализация)».

Библиографический список

- Арт Дж. Г. Некоторые элементы примеси в трондьемитах – их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы. М.: Мир, 1983. С. 99–105.
- Бочкарёв В.В., Язева Р.Г. Субщелочной магматизм Урала / ИГГ УрО РАН. Екатеринбург; 2000. 256 с.
- Гребенников А.В., Попов В.К., Ханчук А.И. Опыт петрохимической типизации кислых вулканических пород различных геодинамических обстановок // Тихоокеанская геология. Т. 32, №3. 2013. С. 68–73.

Жданов А.В., Ободов В.А., Макарьев Л.Б. и др. Геологическое доизучение масштаба 1:200000 и подготовка к изданию госгеолкарты-200 территории листа N-40-XXVIII (Учалинская площадь) // Отчёт по темам №608 и №140 в 2 кн.СПб., 2003. Кн.1. 284 с.

Знаменский С.Е. Структурная эволюция Кизильского разлома (Южный Урал) // Изв. Уфим. науч. центра РАН. 2015. № 4. С. 83–88.

Знаменский С.Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2009. 348 с.

Иванов А.В. Внутриконтинентальный базальтовый магматизм (на примере мезозоя и кайнозоя Сибири): автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / ИЗК СО РАН. Иркутск 2011. 31 с.

Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А. и др. Структурная геология Магнитогорского синклиория Южного Урала. М.: Наука, 1992. 184 с.

Лутфуллин Я.Л. История геологического развития центральной части Магнитогорского мегасинклиория в каменноугольном периоде // Стратиграфия и геология карбона Южного Урала и восточной окраины Русской платформы/ БФАН СССР. Уфа, 1975. С. 145–155.

Наумов В.Б., Коваленко В.И., Дорофеева В.А., Гирнис А.В., Ярмолюк В.В. Средний состав магматических расплавов главных геодинамических обстановок по данным изучения расплавных включений в минералах и закалочных стеклах // Геохимия. 2010. № 12. С. 1266–1288.

Петрографический кодекс России / ВСЕГЕИ. СПб., 2009. 200 с.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Гилем, 2000. 146 с.

Рахимов И.Р. Геология, петрология и рудоносность позднедевонско-карбонового интрузивного магматизма Западно-Магнитогорской

зоны Южного Урала: дис. ... канд. геол. мин. наук. Уфа, 2017. 181 с.

Рахимов И.Р., Салихов Д.Н., Пучков В.Н., Ронкин Ю.Л., Холоднов В.В. Башкирский Sr-Nd возраст завершающей стадии коллизионного магматизма Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала // Докл. Академии наук. 2014. Т. 457, №4, С. 445–450.

Салихов Д.Н., Беликова Г.И. Конформный базитовый магматизм мягкой коллизии Магнитогорского мегасинклиория // Геологический сборник Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. № 9. С. 164–172.

Салихов Д.Н., Беликова Г.И., Пучков В.Н., Рахимов И.Р. Магматизм Худолозовской мульды на Южном Урале // V Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии. Вулканизм и геодинамика/ ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2011. С. 163–166.

Салихов Д.Н., Беликова Г.И., Пучков В.Н., Эрнст Р., Сёдерлунд У., Камо С., Рахимов И.Р., Холоднов В.В. Никеленосный интрузивный комплекс на Южном Урале // Литосфера, 2012. № 6, С. 66–72.

Салихов Д.Н., Бердников П.Г. Магматизм и оруденение позднего палеозоя Магнитогорского мегасинклиория. Уфа, 1985. 94 с.

Салихов Д.Н., Мосейчук В.М., Холоднов В.В., Рахимов И.Р. Каменноугольный вулканогенный интрузивный магматизм Магнитогорско-Богдановского грабена в свете новых геолого-геохимических данных // Литосфера. 2014. №5, С. 33–56.

Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data // Journ. of Asian Earth Sci. 2016. Vol. 120. P. 117–138.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrology. 1984. Vol. 25. P. 956–983.

Post-Island-Arc Intrusive Magmatism of the Western Magnitogorsk Zone: Southern Urals

I.R. Rakhimov

Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 16/2 Karl Marx Str., Ufa 450077, Republic of Bashkortostan, Russia.

E-mail: ig@ufaras.ru.

It is shown that post-island-arc intrusive magmatism of the West-Magnitogorsk Zone embraced the time from Late Devonian to Late Carbon. The new systematization scheme for all variety of intrusive formations is proposed based on the new geological-geochemical data and evolutionary-genetic reconstructions. It presents four discrete intrusive series: 1) gabbro-norite-diorite, 2) gabbro-diorite-granite, 3) peridotite-gabbro-diorite-granite,

4) lamprophyre-dolerite. Each series is characterized by original properties of the body's morphology and rocks petrography, mineralogy and geochemistry.

Key words: *Southern Urals, Western Magnitogorsk Zone, intrusive magmatism, mineralogy, geochemistry.*

References

- Art J.G. 1979. Some Trace Elements in Trondhjemites - Their Implications to Magma Genesis and Paleotectonic Setting. *In: Barker F. (Eds.) Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks. Developments in Petrology, Elsevier Science*, pp. 123–132. doi: 10.1016/B978-0-444-41765-7.50008-3
- Bochkaryov V.V., Yazeva R.G. 2000. Subshchelochnoy magmatizm Urala [Subalkaline magmatism of the Urals]. Yekaterinburg, IGG UrO RAN, p. 256. (in Russian)
- Grebennikov A.V., Popov V.K., Khanchuk A.I. 2013. Opyt petrokhimicheskoy tipizatsii kislykh vulkanicheskikh porod razlichnykh geodinamicheskikh obstanovok [The case study of the petrochemical typification of acid volcanic rocks of different geodynamic settings]. *Tikhookeanskaya geologiya*. 32(3):68–73. (in Russian)
- Zhdanov A.V., Obodov V.A., Makaryev L.B. 2003. Geologicheskoe doizuchenie masshtaba 1:200000 i podgotovka k izdaniyu gosgeolkarty-200 territorii lista N-40-XXVIII (Uchalinskaya ploshhad) [Geological 1:200000 scale post-study and preparation the stategeomap-200 of the Sheet N-40-XXVIII territory (Uchalinskaya area) for publication]. *Otchyot po temam №608 i №140, Kn.1, Sankt-Peterburg*, p. 284. (in Russian)
- Znamenskiy S.E. 2015. Strukturnaya evolyutsiya Kizil'skogo razloma (Yuzhnyy Ural) [Structural evolution of Kizil Fault (Southern Urals)]. *Izvestiya Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN*, 4:83–88. (in Russian)
- Znamenskiy S.E. 2009. Strukturnye usloviya formirovaniya kollizionnykh mestorozhdeniy zolota vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Structural conditions of formation of collisional gold deposits on the east slope of the Southern Urals]. Ufa, Gilem, p. 348. (in Russian)
- Ivanov A.V. 2011. Vnutrikontinentalnyy bazaltovyy magmatizm (na primere mezozoya i kaynozoya Sibiri) [Intracontinental basaltic magmatism (on the example of Mesozoic and Cainozoic of Siberia)]. *Diss. Dr. geol.-min. nauk, Irkutsk, IZK SO RAN*. (in Russian)
- Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T., Kamaletdinov M.A. 1992. Strukturnaya geologiya Magnitogorskogo sinklinoriya Yuzhnogo Urala [The Structural Geology of the Magnitogorsk Megasyntorium of the Southern Urals]. Moskva, Nauka, p. 184. (in Russian)
- Lutfullin Ya.L. 1975. Istoriya geologicheskogo razvitiya tsentralnoy chasti Magnitogorskogo megasinklinoriya v kamennougolnom periode [The history of geological development of the central part of the Magnitogorsk megasyntorium in Carboniferous]. *Stratigrafiya i geologiya karbona Yuzhnogo Urala i vostochnoy okrainy Russkoy platformy*. Ufa, BF AN SSSR, pp. 145–155. (in Russian)
- Naumov V.B., Kovalenko V.I., Dorofeeva V.A., Girnis A.V., Yarmolyuk V.V. 2010. Sredniy sostav magmaticheskikh rasplavov glavnykh geodinamicheskikh obstanovok po dannym izucheniya rasplavnykh vklyucheniyy v mineralakh i zakalochnykh stekol [Average composition of magmatic melts of the main geodynamic settings according to study of melt inclusions in the minerals and tempering glasses]. *Geokhimiya*. 12:1266–1288. (in Russian)
- Petrograficheskiy kodeks Rossii [Petrographic codex of Russia]. Sankt-Peterburg, VSEGEI, 2009, p. 200. (in Russian)
- Puchkov V.N. 2010. Geologiya Urala i Priuraliya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the For-Urals (actual problems of Stratigraphy, Tectonics, Geodynamics and Metallogeny)]. Ufa, DizaynPoligrafServis, p. 280. (in Russian)
- Puchkov V.N. 2000. Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Gilem, p. 146. (in Russian)
- Rakhimov I.R. 2017. Geologiya, petrologiya i rudonosnost pozdnedevonsko-karbonovogo intruzivnogo magmatizma Zapadno-Magnitogorskoy zony Yuzhnogo Urala [Geology, petrology and mineralization of Late Devonian–Carbon intrusive magmatism of the Western Magnitogorsk Zone of the Southern Urals]. *Diss. kand. geol.-min. nauk*. Ufa. (in Russian)
- Rakhimov I.R., Salikhov D.N., Puchkov V.N., Ronkin Yu.L., Kholodnov V.V. 2014. Bashkirskiy Sr-Nd vozrast zavershchayushchey stadii kollizionnogo magmatizma Zapadno-Magnitogorskoy zony Yuzhnogo Urala [Bashkirian Sr-Nd Age of the Western Magnitogorsk Zone of the South Urals]. *Doklady Akademii nauk*. 457(4):445–450. (in Russian)
- Salikhov D.N., Belikova G.I. 2011. Konformnyy bazitovyy magmatizm myagkoy kollizii Magnitogorskogo megasinklinoriya [Conformal basic magmatism of soft collision of the Magnitogorsk megasyntorium]. *Geologicheskii sbornik*. 9:164–172. (in Russian)
- Salikhov D.N., Belikova G.I., Puchkov V.N., Rakhimov I.R. 2011. Magmatizm Khudolazovskoy muldy na Yuzhnom Urale [Magmatism of the Khu-

dolazovsk Through on the Southern Urals]. In: V Vserossiyskiy simpozium po vulkanologii i paleovulkanologii. Vulkanizm i geodinamika. Yekaterinburg, IGG UrO RAN, pp. 163–166. (in Russian)

Salikhov D.N., Belikova G.I., Puchkov V.N., Ernst R., Söderlund U., Kamo S., Rakhimov I.R., Kholodnov V.V. 2012. Nikelenosnyy intruzivnyy kompleks na Yuzhnom Urale [Nickel-bearing intrusive complex on the Southern Urals]. Litosfera. 6:66–72. (in Russian)

Salikhov D.N., Berdnikov P.G. 1985. Magmatizm i orudneniye pozdnego paleozoya Magnitogorskogo megasinklinoriya [Magmatism and mineralization of Late Paleozoic of the Magnitogorsk megasynclinorium]. Ufa, p. 94. (in Russian)

Salikhov D.N., Moseychuk V.M., Kholodnov V.V., Rakhimov I.R. 2014. Kamennougolnyy vulkano-

intruzivnyy magmatizm Magnitogorskobogdanovskogo grabena v svete novykh geologo-geokhimicheskikh dannykh [Carboniferous intrusive-volcanic magmatism of Magnitogorsk-Bogdanovka Graben in the light of new geological and geochemical data]. Litosfera. 5:33–56. (in Russian)

Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. 2016. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data. Journ. of Asian Earth Sci. 120:117–138. doi: 10.1016/j.jseas.2015.10.023

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrology. 25:956–983. doi: 10.1093/petrology/25.4.956